

FEEDFORWARD FEEDBACK CONTROL SEBAGAI PENGONTROL SUHU MENGUNAKAN PROPORSIONAL - INTEGRAL BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535

Makalah Seminar Tugas Akhir

Junanto Prihantoro¹, Trias Andromeda², Iwan Setiawan²

¹Mahasiswa dan ²Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

ABSTRAK

Feedforward feedback control merupakan suatu pengontrol yang dapat digunakan secara efektif untuk mempercepat tanggapan sistem pengendalian sehingga sesuai dengan setpoint yang dikehendaki. Hal ini dikarenakan feedforward dapat secara langsung mengoreksi perubahan load yang terjadi walaupun akan tetap timbul error sehingga dibutuhkan feedback untuk mengatasi hal tersebut. Feedforward dapat mengurangi deviasi dari setpoint tapi hal ini berjalan lambat. Feedback digunakan untuk mengembalikan keadaan menuju setpoint secara cepat tetapi mempunyai deviasi yang lebih lebar. Metode pengontrolan feedforward feedback ini banyak digunakan kebanyakan industri untuk mempercepat respon keluaran mencapai stabil. Feedforward feedback control digunakan ketika single-loop tidak lagi dapat digunakan dan terdapat variabel tambahan. Selain itu variabel pada secondary control harus mengidentifikasi gangguan yang ekstrim, mempunyai hubungan sebab akibat dari valve ke secondary control, mempunyai respon keluaran yang lebih cepat daripada primary control.

Metode pengontrol yang digunakan untuk feedforward feedback control biasanya berupa PI (Proporsional Integrall). PI merupakan penjumlahan dari dua buah pengontrol antara lain proporsional dan integral yang masing-masing mempunyai fungsi yang berbeda. Kontroler ini memiliki parameter-parameter pengontrol, yaitu konstanta proporsional (K_p dan konstanta waktu integral (T_i).

Mikrokontroler ATmega8535 adalah sebuah mikrokontroler yang dapat digunakan sebagai pengontrol plant dan pengontrolan PI dalam bentuk perangkat lunak. Dengan menggunakan sebuah mikrokontroler, pengontrol dapat diterapkan pada plant secara fleksibel dibandingkan dengan menggunakan sebuah komputer. Sedangkan plant yang akan diuji adalah sebuah reaktor yang digunakan untuk memanaskan udara dengan uap kering.

Kata kunci : *feedforward feedback control, PI, mikrokontroler ATmega8535..*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, banyak industri menggunakan reaktor sebagai pemanas air yang digunakan untuk proses produksi. Di mana air yang masuk ke dalam reaktor dipanaskan dengan menggunakan uap yang bertekanan tinggi. Banyak sedikitnya uap yang masuk ke dalam reaktor dikendalikan dengan menggunakan valve dengan metode PI (Proporsional Integral).

Metode kendali PI yang digunakan akan mengendalikan valve, sehingga uap yang masuk ke dalam reaktor dapat dikendalikan. Uap yang masuk ke dalam reaktor akan memanaskan air sampai suhu yang kita harapkan (*set point*). Setelah suhu tercapai, air (hasil) akan digunakan untuk proses produksi selanjutnya dan reaktor akan terisi air lagi untuk dipanaskan.

Untuk mengendalikan suatu *plant* terlebih dahulu perlu melakukan pemodelan terhadap *plant*

tersebut untuk mengetahui parameter-parameternya. Sehingga kita dapat mengidentifikasi *plant* tersebut (sifat dan karakteristiknya). Dengan teridentifikasinya suatu *plant* akan memudahkan kita untuk mengendalikan *plant* dengan metode PI.

Dengan metode PI, akan diperoleh respon keluaran yang lebih stabil dibandingkan metode *on-off*. Hal ini dikarenakan pada PI terdapat dua pengontrol antara lain proporsional dan integral. Masing-masing pengontrol mempunyai fungsi yang berbeda yang akan mempengaruhi kestabilan dari respon keluaran.

Akan tetapi apabila terdapat gangguan pada sumber air, respon keluaran akan mencapai stabil dalam waktu yang lama. Hal ini mengakibatkan banyak industri menggunakan metode *feedforward feedback control* untuk mengendalikan suatu *plant* agar diperoleh kestabilan yang lebih cepat.

Berdasarkan hal tersebut maka dibuatlah suatu pengontrol suhu yang mempunyai prinsip kerja seperti diatas, yaitu dengan memodifikasi sumber

yang dikontrol, dalam hal ini air diganti dengan udara dan *valve* diganti dengan dua buah kipas dc.

1.2 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah

1. Menerapkan kontroller PI pada *plant* pengendalian suhu secara *feedforward feedback control* dengan menggunakan mikrokontroller ATmega8535 sebagai media pengontrol.
2. Membandingkan respon keluaran antara *plant* yang menggunakan *feedforward feedback control* dengan *single loop control*

1.3 Pembatasan Makalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. *Plant* yang diuji adalah *plant* pengendalian suhu.
2. Sumber pemanas berupa *flow* uap.
3. Metode pengontrolnya PI (Proporsional Integral) secara *feedforward feedback control*.
4. Mikrokontroller yang digunakan adalah mikrokontroller ATmega8535.
5. Pembuatan perangkat lunak menggunakan Bahasa *C embedded*.
6. Tidak membahas *handshaking* komunikasi serial.
7. Gangguan suhu yang diberikan berupa suhu panas menggunakan *hairdryer*.
8. Proses yang dapat dilakukan oleh sistem hanyalah proses pemanasan dan suhu *plant* dianggap merata di daerah yang diatur suhunya.
9. Jangkauan pengaturan suhu udara adalah 30 °C sampai dengan 42 °C dengan kenaikan sebesar 0,1 °C, sedangkan jangkauan pengukuran suhu adalah 25 °C sampai dengan 100 °C.
10. Pembuatan program bantu menggunakan bahasa visual Delphi 7.0, dan antarmuka melalui komunikasi serial sebagai tampilan.

II. DASAR TEORI

2.1 Pengendali PID (Proporsional-Integral)

Pengendali PI adalah suatu sistem pengendali yang merupakan gabungan antara pengendali proporsional dan integral. Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

dengan

$u(t)$ = sinyal keluaran pengendali PI
 K_p = konstanta proporsional

T_i = waktu integral

T_d = waktu turunan

K_i = konstanta integral

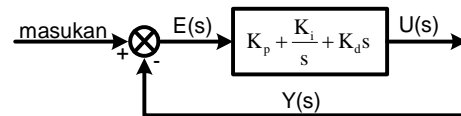
K_d = konstanta turunan

$e(t)$ = sinyal kesalahan ($e(t)$ = referensi – keluaran *plant*)

Jadi, fungsi alih pengendali PID (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

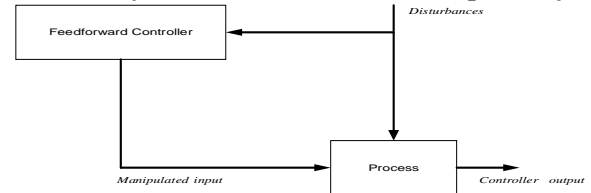
Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram blok pengendali PID

2.2 Feedforward Feedback Control

2.2.1 Feedforward Control (Kontrol Umpan Maju)

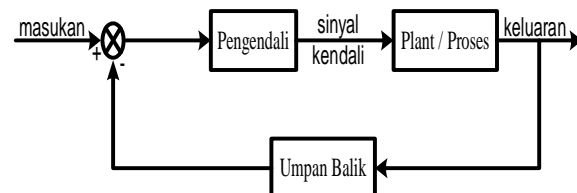


Gambar 2 Diagram blok pengendali *feedforward*

Berdasarkan Gambar 2 konfigurasi kontrol *feedforward* mengukur gangguan secara langsung dan mengambil aksi kontrol untuk mengeliminasi dampak gangguan tersebut terhadap keluaran (*output* proses).

2.2.2 Feedback Control (Kontrol Umpan Balik)

Pada sistem pengaturan kalang tertutup, aksi pengendalian dipengaruhi oleh sinyal kesalahan penggerak (selisih antara sinyal referensi dengan sinyal umpan balik). Sistem pengaturan kalang tertutup melibatkan umpan balik negatif. Secara umum, diagram blok sistem pengaturan ini dapat dilihat pada Gambar 3.

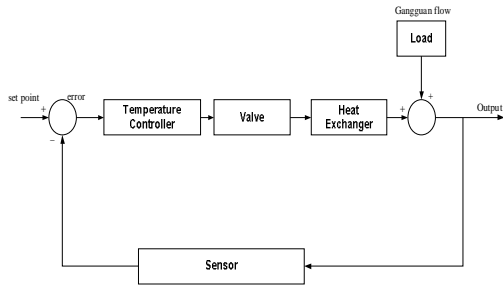


Gambar 3 Diagram blok pengendali *feedback*

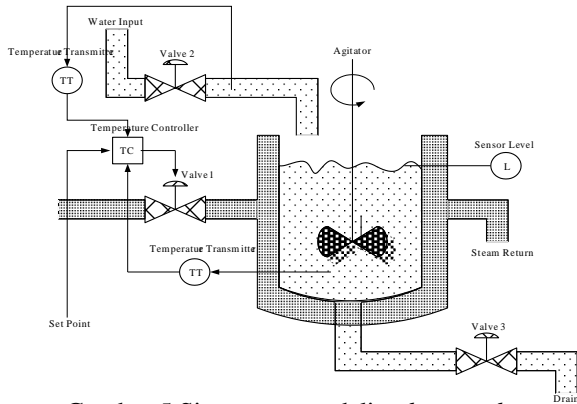
2.2.3 Feedforward Feedback Control

Pada sistem pengendalian *heat exchanger* jika terjadi perubahan *load* pada *plant* sedangkan *flow*

pada *steam* tetap maka dapat digunakan sistem pengendalian *feedback*, tetapi jika perubahan *load* terjadi terlalu cepat maka dibutuhkan sistem pengendalian lain, hal ini dikarenakan jalur *feedback* konvensional perlu “melihat” *error* sebelum melakukan tindakan mengoreksi. Sistem *feedback* ini tidak akan mampu mengatasi *load* dengan baik kalau frekuensi perubahan *load* terlalu cepat.

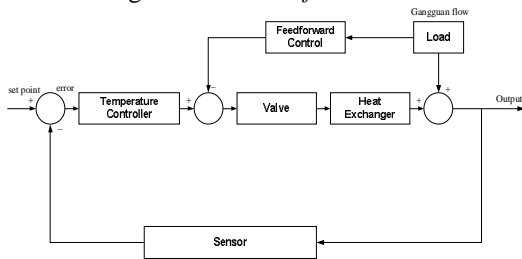


Gambar 4 Diagram blok sistem pengendalian *heat exchanger*



Gambar 5 Sistem pengendalian *heat exchanger*

Pada contoh melalui Gambar 5 *flow* fluida proses diukur dan sinyal pengukuran inilah yang kemudian dipakai sebagai bagian dari sinyal koreksi. Oleh karena itulah, sistem *feedforward* juga bisa disebut dengan *disturbance feedback*.

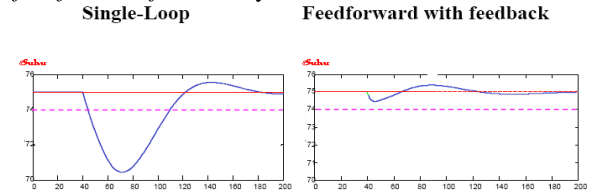


Gambar 6 Diagram blok sistem *feedforward feedback control*

Kerja jalur *feedforward* dapat diterapkan dalam berbagai macam cara, salah satunya dapat dilihat pada Gambar 6. Perancangan sistem *feedforward* berdasarkan kebutuhan proses, hal ini

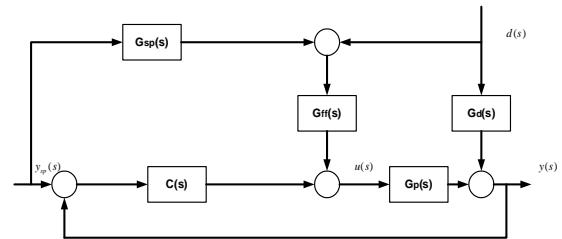
dilakukan untuk mengurangi *load* yang besar yang dapat mengganggu proses *output*. Tetapi perancangan sistem sepenuhnya diserahkan kepada perancang karena diharapkan interaksi antara *feedforward* dan *feedback* dapat berkurang.

Pada Gambar 7 dapat dilihat perbandingan tanggapan keluaran antara *single loop* dengan *feedforward feedback* yaitu :



Gambar 7 Respon keluaran *single loop* dan *feedforward feedback control*

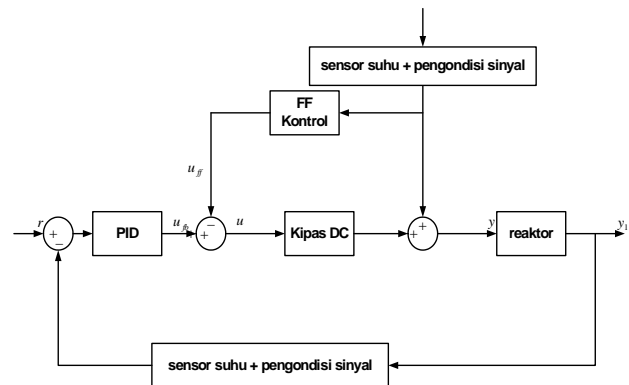
Desain sistem pengendalian *feedforward feedback control* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram blok desain sistem *feedforward feedback control*

III. PERANCANGAN

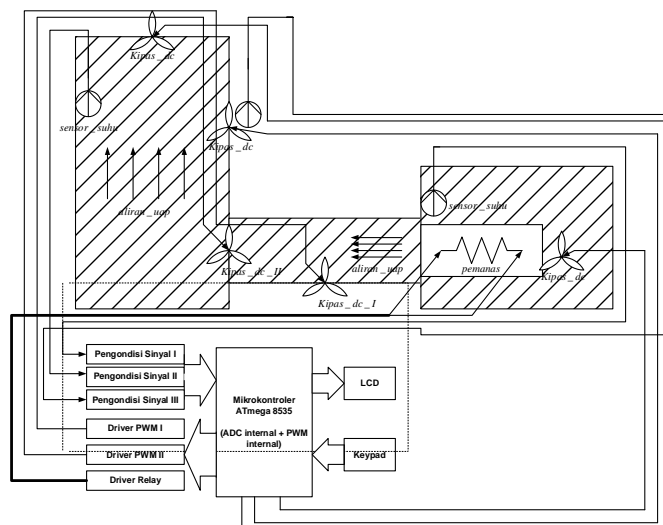
Secara umum blok diagram perancangan sistem pengendalian suhu menggunakan metode *feedforward feedback control* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Blok diagram pengendalian suhu dengan *feedforward feedback control*

3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 10.



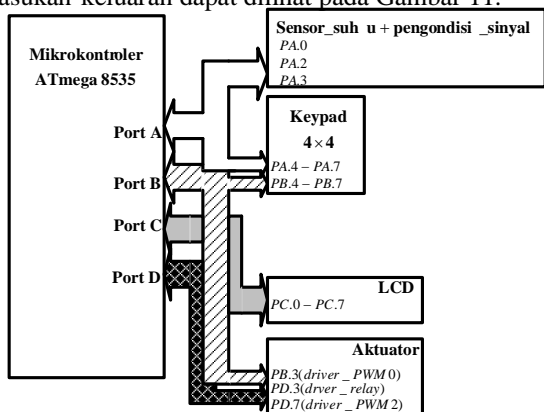
Gambar 10 Blok diagram perancangan perangkat keras

3.1.1 Plant Model Pengendalian Suhu dengan Feedforward Feedback Control

Plant yang digunakan untuk pengendalian suhu dengan *feedforward feedback control* adalah berupa kotak dengan ukuran panjang x lebar x tinggi = 30 x 15 x 50 cm. Di dalam *plant* terdapat sebuah sensor suhu LM35 yang diletakkan jauh dari sumber pemanas dengan udara sebagai media yang dipanaskan.

3.1.2 Sistem Minimum Mikrokontroler ATmega8535

Sistem mikrokontroler ATmega8535 dibentuk dari beberapa piranti masukan-keluaran. Hubungan mikrokontroler ATmega8535 dengan piranti masukan-keluaran dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Interaksi sistem mikrokontroler Atmega 8535 dengan komponen I/O

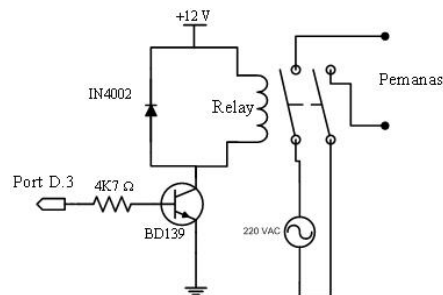
3.1.3 Pemanas (Heater)

Pemanas (*heater*) yang digunakan berupa kawat nikelin 300 watt dengan panjang 1 meter.

Pemanas ini bekerja dengan sumber tegangan ac (bolak-balik) dengan menghasilkan suhu maksimal $\pm 100^{\circ}C$.

3.1.4 Relay dan Driver Relay

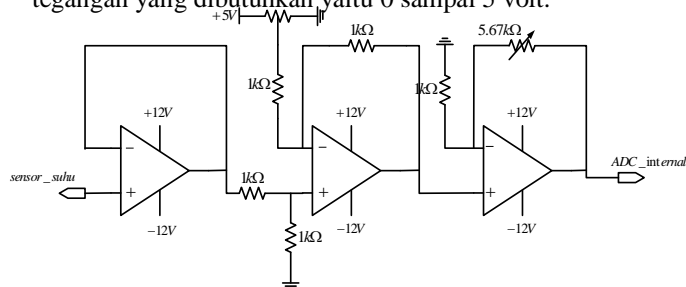
Relay dan *driver relay* digunakan untuk mengendalikan panas pada pemanas (*heater*) dengan metode pengendalian *on-off* sehingga suhu pada pemanas (*heater*) tetap (konstan). Rangkaian *driver relay* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Rangkaian driver relay

3.1.5 Sensor Suhu LM35 dan Pengondisi Sinyal

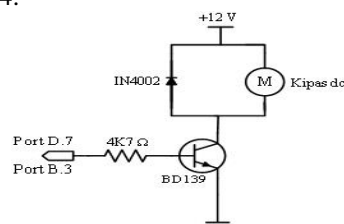
Rangkaian pengkondisi sinyal yang sesuai untuk mengubah jangkauan tegangan antara 0,25 sampai 1 volt menjadi 0 sampai 5 volt adalah penguat selisih, dapat dilihat pada Gambar 13. Penguat ini akan mengurangi tegangan masukan dengan nilai 0,25 volt, sebagai tegangan paling kecil yang diukur, sehingga jangkauan tegangan yang akan dikuatkan menjadi 0 sampai 0,75 volt. Selanjutnya, tegangan dengan jangkauan 0 sampai 0,75 volt ini akan dikuatkan sebesar 6,67 kali agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan yaitu 0 sampai 5 volt.



Gambar 13 Rangkaian pengkondisi sinyal I, II dan III

3.1.6 Driver PWM (Pulse Width Modulation)

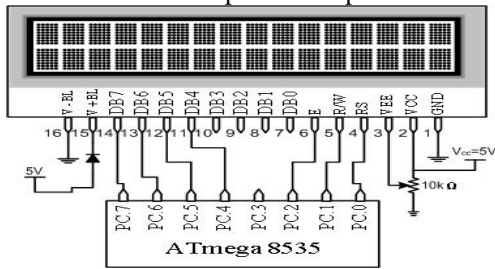
Skema dari *driver PWM* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Rangkaian driver PWM

3.1.7 LCD dan Driver LCD (*Liquid Crystal Display*)

Skema LCD dapat dilihat pada Gambar 15.

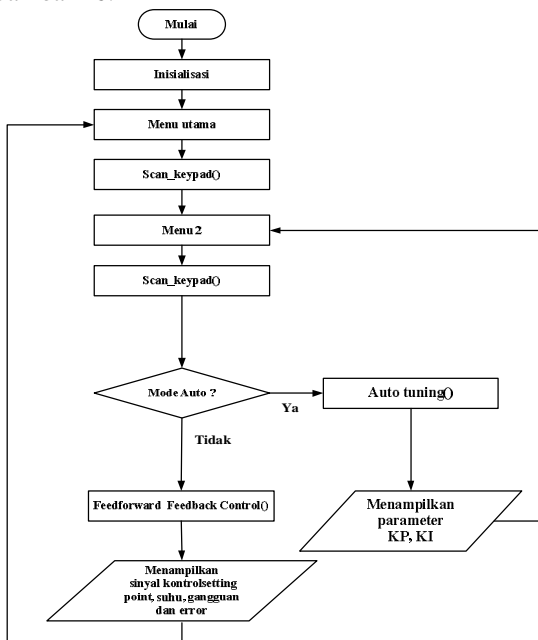


Gambar 15 Rangkaian LCD tipe M1632.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

3.2.1 Diagram Alir Program Utama

Program utama mengatur keseluruhan jalannya program yang meliputi sub rutin-sub rutin. Sub rutin akan melaksanakan fungsi-fungsi tertentu yang dibutuhkan untuk sistem pengontrolan. Adapun diagram alir dari program utama dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Diagram alir program utama

3.2.2 Sub Rutin Interupsi Timer0

Sub rutin interupsi *Timer0* digunakan untuk sampling waktu pengambilan ADC internal yaitu `adc_data[0]` dan `adc_data[3]` terletak pada Port A.0 dan Port A.3, dan untuk menghasilkan PWM (*Pulse Width Modulation*) internal. PWM internal ini terletak pada Port B.3 untuk *Timer0*.

3.2.3 Sub Rutin Interupsi Timer2

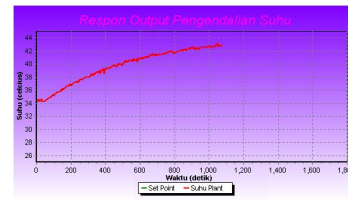
Sub rutin interupsi *Timer2* digunakan untuk waktu cuplik dalam melakukan *auto tuning*, waktu

cuplik perhitungan sinyal kontrol, dan untuk menghasilkan PWM (*Pulse Width Modulation*) internal. PWM internal ini terletak pada Port D.7 untuk *Timer2*.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Pengujian Kalang Terbuka

Tanggapan keluaran pada pengujian kalang terbuka akan memberi tahu kelayakan *auto tuning* Ziegler-Nichols ini dalam mencari parameter proporsional dan integral ($0.1 \leq L/T \leq 0.6$). Pada pengujian kalang terbuka, mikrokontroller memberi masukan berupa sinyal kendali ke *driver* PWM 2 sebesar $7F_h$ yang setara dengan 6 volt dan PWM 0 sebesar 80_h yang setara dengan 6 volt. Sinyal kendali tersebut akan mengendalikan suhu pada *plant* model. Tanggapan keluaran suhu pada *plant* dapat dilihat pada Gambar 17.

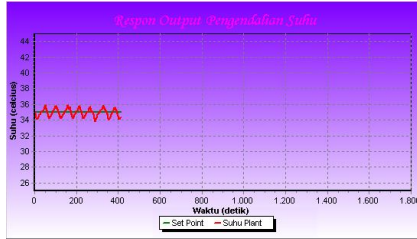


Gambar 17 Tanggapan keluaran *plant* suhu untuk kalang terbuka

Tanggapan keluaran *plant* suhu menunjukkan adanya waktu mati (*dead time*) setelah pemanas dinyalakan, namun suhu belum mulai memanas. Besarnya waktu mati (L) yang dihasilkan sebesar 54.5 detik dan konstanta waktu (T) dari tanggapan tersebut sebesar 438 detik. Perbandingan besar waktu mati terhadap konstanta waktu (L/T) menghasilkan nilai 0.124.

4.2 Penalaan Suhu dengan *Auto Tuning* Ziegler Nichols

Penalaan parameter-parameter proporsional-integral dilakukan agar dapat diperoleh parameter-parameter yang sesuai untuk *plant* model. Referensi yang diberikan adalah sebesar 35°C yang setara dengan nilai 22_h . Pada saat diolah oleh mikrokontroller dengan sinyal kendali *relay* yang diberikan ketika keadaan *off* ke *driver* PWM 2 sebesar 00_h yang setara dengan 0 volt dan PWM 0 sebesar FF_h yang setara dengan 12 volt. Sedangkan ketika keadaan *on*, sinyal kendali *relay* yang diberikan ke *driver* PWM 2 sebesar 44_h yang setara dengan 3.2 volt dan PWM 0 sebesar BB_h yang setara dengan 8.8 volt.



Gambar 18 Tanggapan keluaran *auto tuning* Ziegler Nichols

Tanggapan suhu *plant* beresilasi dengan suhu minimal 34.2 °C yang setara dengan 7D_h untuk 10 bit atau setara dengan 1F_h untuk 8 bit sampai dengan suhu maksimal 35.8°C yang setara dengan 93_h untuk 10 bit atau setara dengan 24_h untuk 8 bit. Nilai amplitudo osilasi (*a*) didapatkan sebesar 3_h, dan nilai perioda osilasi (*T_u*) sebesar 40 detik.

Penalaan dengan data yang ditunjukkan Gambar 18 menghasilkan parameter-parameter PI sebagai berikut :

$$K_p = \frac{0.4 \times 4 \times d}{a \times \pi} = \frac{0.4 \times 4 \times 22_h}{3_h \times 3.14} = 5.61$$

$$K_i = \frac{K_p}{0.8 \times T_u} = \frac{5.61}{0.8 \times 40} = 0.175$$

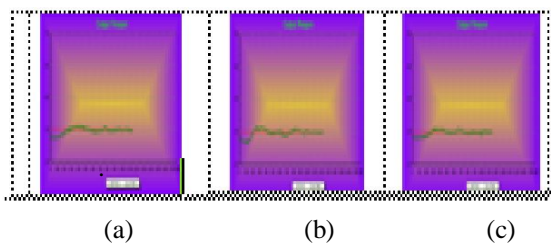
4.3 Perbandingan Tanggapan Suhu Secara *Single Control* Dengan Tanggapan Suhu Secara *Feedforward Feedback Control*

4.3.1 Perbandingan Pengaruh *Gain* Pada Pengendalian *Feedforward Feedback Control*

Berikut ini akan ditunjukkan pengaruh perbedaan nilai *gain* untuk pengendalian secara *feedforward feedback control* yang bertujuan agar diperoleh nilai optimal untuk pengendalian secara *feedforward feedback control* yaitu dengan cara membandingkan ketiga nilai *gain* (8, 10, dan 12) untuk suhu 35 °C.

• Suhu 35 °C

Pengaruh nilai *gain* yang diberikan pada pengendalian *feedforward feedback control* untuk setting point 35 °C dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Pengaruh *gain* pada pengendalian *feedforward feedback control* suhu 35 °C
(a) *gain* 8

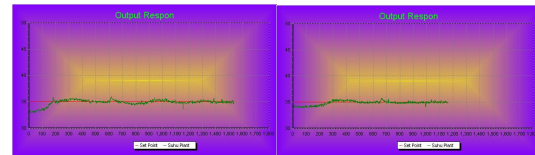
(b) *gain* 10

(c) *gain* 12

Berdasarkan Gambar 19 dapat dilihat bahwa *gain* 12 lebih baik digunakan untuk suhu 35 °C hal ini dikarenakan tanggapan yang terjadi pada keluaran pengendalian suhu setelah diberikan gangguan lebih cepat mencapai stabil dibandingkan dengan *gain* yang lain.

4.3.2 Tanggapan Sistem Terhadap *Setting Point* 35 °C

❖ Gangguan berupa uap panas selama 12 detik



(a)

(b)

Gambar 20 Tanggapan sistem pengendalian suhu dengan setting point 35°C dan gangguan selama 12 detik (a) *single control* (b) *feedforward feedback control*

Ketika terjadi gangguan selama 12 detik pada waktu 600 detik, tanggapan pada pengendalian suhu secara *single control* mengalami kenaikan yang agak drastis pada batas atasnya yaitu mencapai 35.987 dan batas bawah mencapai suhu 34.448°C. dari set point. Tanggapan kembali stabil setelah 1474 detik dengan suhu antara 34.9°C sampai dengan 35.2 °C. Sedangkan tanggapan pengendalian suhu secara *feedforward feedback control* ketika terjadi gangguan uap panas selama 12 detik pada waktu 650 detik mengalami kenaikan pada batas atas suhu mencapai 35.787°C dan mempunyai nilai batas bawah sekitar 34.668 °C. Tanggapan kembali stabil setelah 684 detik dengan suhu antara 34.9 dan 35.2°C.

4.4 Analisa Tanggapan Suhu secara *Single control* dengan Tanggapan Suhu secara *feedforward feedback control*

Dari hasil pengujian pengendalian suhu secara *single control* dan pengendalian suhu secara *feedforward feedback control* untuk *setting point* yang bervariasi yaitu 35°C, 37°C dan 39°C dapat dilihat pada Tabel 1 yang memuat besarnya setting point, toleransi kestabilan suhu, besarnya gangguan, perubahan suhu ketika terjadi gangguan, waktu perubahan suhu ketika terjadi gangguan untuk mencapai stabil.

Tabel 1 Hasil pengujian pengendalian suhu secara *single control* dan pengendalian suhu secara *feedforward feedback control*

Setting Point	Bentuk	Nilai toleransi	Gangguan	Suhu	Δ waktu
Suhu	pengendalian	Kestabilan suhu	(detik)	ketika gangguan min-maks	ketika gangguan (detik)
35	Single control	0.3% (35.9 – 36.1)	12	34.499 - 35.987	874
	feedforward dan feedback control	0.3% (35.9 – 36.1)	12	34.668 - 35.787	34
37	Single control	0.4% (36.9 – 37.2)	12	36.499-37.891	207
	feedforward dan feedback control	0.4% (36.9 – 37.2)	12	36.499-37.744	184
39	Single control	0.4% (38.9 – 39.2)	12	38.697-39.942	600
	feedforward dan feedback control	0.4% (38.9 – 39.2)	12	39.697-39.869	25

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Untuk suhu masukan tetap (tidak terjadi gangguan) maka *feedforward* tidak berfungsi sehingga keluaran antara pengendalian dengan menggunakan *singleloop* dan *feedforward feedback* sama.
2. Tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *single control* cenderung naik dan memiliki deviasi yang lebar untuk gangguan selama 12 detik. Sedangkan tanggapan keluaran pengendalian suhu secara *feedforward feedback control* cenderung naik tetapi deviasi yang dihasilkan lebih sempit untuk gangguan yang sama.
3. Kestabilan yang diperoleh antara *single control* dengan *feedforward feedback control* setelah diberikan gangguan berupa uap panas selama 12 detik lebih cepat pada *feedforward feedback control*.
4. Untuk pengendali *feedforward*, *gain* yang dipilih adalah 12 hal ini dikarenakan berdasarkan pengujian *gain* 12 memberikan keluaran pengendalian suhu yang lebih baik ketika diberikan gangguan selama 12 detik bila dibandingkan dengan dua *gain* lain yaitu 8 dan 10.
5. Besarnya waktu perubahan suhu ketika terjadi gangguan untuk mencapai stabil tergantung dari besarnya gangguan uap panas yang diberikan. Semakin besar gangguan maka besarnya waktu untuk perubahan suhu semakin besar.

5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah

1. Untuk mendapatkan tanggapan suhu keluaran yang lebih baik, maka dapat dicoba dengan :
 - Menggunakan *plant* model sesuai dengan industri, misalnya kipas dc diganti dengan *valve* linear, uap untuk memanaskan berupa

uap basah bukan uap kering, benda yang dipanaskan berupa benda cair bukan udara.

- Dalam penalaan PI (Proporsional dan Integral) secara *auto tuning* bisa menggunakan metode IMC (*Internal Mode Control*). Hal ini dikarenakan dengan metode IMC akan mendapatkan nilai-nilai parameter yang lebih optimal dibandingkan dengan metode Ziegler-Nichols 2.
2. Gangguan yang dikontrol dapat berupa berupa *flow* (aliran), maupun tekanan.
 3. Dapat dikembangkan dengan membuat pengendalian jarak jauh (*remote*) dengan perantara komputer.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astrom, John and Bjorn Wittenmark, *Adaptive Control*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [2] Brosilow, Coleman/Babu Joseph, *Techniques of Model-Based Control*, Prentice Hall International Series, New Jersey, 2001.
- [3] Gunterus, Frans, *Falsafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1997.
- [4] Jacquot, Raymond G., *Modern Digital Control Systems*, Marcel Dekker Inc, New York, 1981.
- [5] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.



Junanto Prihantoro, saat ini sedang menyelesaikan pendidikan program Strata – 1. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro mengambil konsentrasi Kontrol

Mengetahui/Mengesahkan,

Pembimbing I

Pembimbing II

Trias Andromeda ST.MT.
NIP. 132 283 185

Iwan Setiawan ST.MT.
NIP. 132 283 183